

(19)日本国特許庁 (J P)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-304607

(43)公開日 平成11年(1999)11月5日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G01L 3/10

G01L 3/10

F

B62D 5/04

B62D 5/04

6/00

6/00

// B62D119:00

審査請求 未請求 請求項の数 1 F D (全7頁)

(21)出願番号

特願平10-121652

(22)出願日

平成10年(1998)4月16日

(71)出願人 000004204

日本精工株式会社

東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72)発明者 力石 一穂

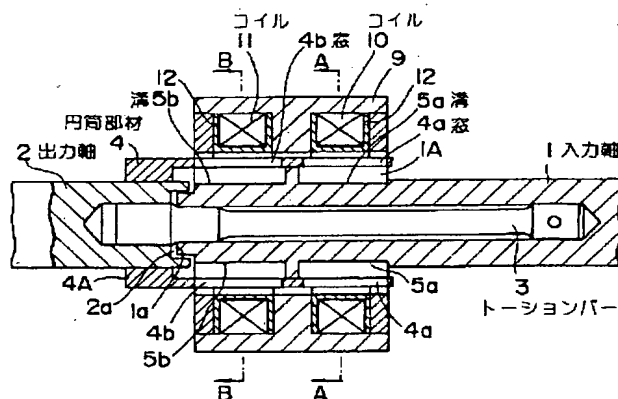
群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内

(54)【発明の名称】トルクセンサ

(57)【要約】

【課題】性能の大幅な低下等の不具合を招くことなく製造コストを低減する。

【解決手段】同軸に且つ回転自在に配置された回転軸としての入力軸1及び出力軸2間を、トーションバー3を介して連結し、入力軸1及び出力軸2は、いずれも導電性の磁性体であるS25C或いはS35C等の一般の構造用鋼で形成するとともに、無電解ニッケルメッキ処理によって、その表面をNi-P合金からなる薄い皮膜で被覆する。そして、入力軸1及び出力軸2に作用するトルクを、それらの間のトーションバー3の捩れを伴った相対回転に伴うコイル10、11の誘導起電力の変化として検出する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 磁性体からなる二本の回転軸をトーションバーを介して同軸に連結するとともに、前記回転軸を包囲するようにコイルを配設し、前記回転軸に作用するトルクを、それら回転軸間の相対回転に伴う前記コイルの誘導起電力の変化として検出するようになっているトルクセンサにおいて、前記回転軸をその表面が不動態となるように被覆したことを特徴とするトルクセンサ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、回転軸に発生するトルクを検出するトルクセンサに関し、特に、コスト低減が図られるようにしたものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来のトルクセンサとしては、例えば本出願人が先に提案した特開平 8 - 2 4 0 4 9 1 号公報に開示されたものがある。即ち、かかる従来のトルクセンサにあつては、同軸に配設された第 1 及び第 2 の回転軸をトーションバーを介して連結するとともに、導電性で且つ非磁性の材料からなる円筒部材を、第 1 の回転軸の外周面を包囲するように第 2 の回転軸と回転方向に一体とし、第 1 の回転軸の少なくとも円筒部材に包囲された被包囲部を磁性材料で形成し、被包囲部に軸方向に延びる溝を形成し、円筒部材には第 1 の回転軸との間の相対回転位置に応じて前記溝との重なり具合が変化するように窓を形成し、そして、円筒部材の前記窓が形成された部分を包囲するようにコイルを配設し、そのコイルに起電力を誘導させてこれを測定する起電力測定手段を設け、その起電力測定手段の測定結果に基づいて第 1 及び第 2 の回転軸に発生するトルクを検出するようになっており、そのような構成であるため、簡易な構造で高精度のトルク検出が行え、しかも装置の小型化も図られる、というものであった。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】確かに、上記公報に開示された従来のトルクセンサによれば、上記のような構成であるため高精度のトルク検出が行える等の顕著な効果を奏することが出来るが、実際に生産することを考えると、下記のような解決すべき課題があった。

【0004】即ち、磁性体からなる回転軸の磁化は、それが導電性材料の場合には表皮効果によって材料表面近傍において生じるため、回転軸表面が酸化等によって変化してしまうと、センサ特性が変化してしまうという不具合がある。

【0005】一方、一般的に材料の表面の錆等を防止するためには、亜鉛メッキ処理、或いは亜鉛メッキ及びクロメート処理等の防錆処理が行われるのであるが、それによる防錆のメカニズムは、自己（メッキ部分）の腐食作用による素地の腐食防止である。従って、トルクセンサの回転軸表面を亜鉛メッキ処理等により被覆したとし

ても、メッキ部分が腐食してしまえば、その腐食によって薄くなった分、銅損が変化してしまう結果、回転軸自体が腐食されなくても、コイルのインピーダンスが変化してセンサ特性が変わってしまうのである。

【0006】このようなことから、回転軸を形成する磁性体としては、表面に不動態が存在するフェライト系若しくはマルテンサイト系ステンレス材を使用することになるのであるが、かかる材料は一般の構造用鋼に比較して高価であり、しかも切削加工及び塑性加工のいずれに対しても難加工材であるため、製造コストが高くなってしまい、トルクセンサのコスト高の一因となっていた。

【0007】本発明は、このような従来の技術が有する解決すべき課題に着目してなされたものであって、性能の大幅な低下等の不具合を招くことなく、コスト低減が図られるトルクセンサを提供することを目的としている。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、磁性体からなる二本の回転軸をトーションバーを介して同軸に連結するとともに、前記回転軸を包囲するようにコイルを配設し、前記回転軸に作用するトルクを、それら回転軸間の相対回転に伴う前記コイルの誘導起電力の変化として検出するようになっているトルクセンサにおいて、前記回転軸をその表面が不動態となるように被覆した。

【0009】なお、その回転軸表面を被覆する処理としては、無電解ニッケルメッキ処理が好適である。また、そのメッキ処理により回転軸表面に形成される皮膜の厚さは、その皮膜を構成する材料の磁束の浸透深さよりも薄くすることが望ましい。

【0010】そして、回転軸を形成する磁性体材料としては、加工性が良好な一般の構造用鋼（例えば、S 2 5 C、S 3 5 C 等）が好適であり、このような構造用鋼であっても、無電解ニッケルメッキ処理を施すことにより、その表面に不動態の皮膜を形成すれば、信頼性を損なうことなく、低コストなトルクセンサとすることが出来る。

【0011】ニッケル自身は強磁性体であるが、無電解ニッケルメッキは、ニッケルとリンとの合金であり、通常は非磁性体である（処理温度によっては、磁性を帯びるようになる。）。従って、磁気シールドとなってしまうが、そのメッキ皮膜の厚さを、表皮効果により決まる磁束の浸透深さより薄くすれば、回転軸の自発磁化をメッキ皮膜が大きく妨げられてセンサ感度が大幅に低下することはない。

## 【0012】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態を図面に基いて説明する。図 1 乃至図 6 は本発明の一実施の形態を示す図であつて、これは本発明に係るトルクセンサを車両用の電動パワーステアリング装置に適用した

10

20

30

40

50

ものである。

【0013】先ず、構成を説明すると、車両の操舵系の一部分の断面図である図1に示すように、同軸に且つ回転自在に配置された回転軸としての入力軸1及び出力軸2間が、トーションバー3を介して連結されている。

【0014】入力軸1及び出力軸2は、いずれも導電性の磁性体であるS25C或いはS35C等の一般の構造用鋼で形成されているとともに、無電解ニッケルメッキ処理によって、その表面にNi-P合金からなる薄い皮膜が形成されていて、これにより、入力軸1及び出力軸2の腐食を防止している。

【0015】入力軸1の図示しない図1右端側には、ステアリングホイールが回転方向に一体に取り付けられており、また、出力軸2の図示しない図1左端側には、例えば公知のラックアンドピニオン式ステアリング装置を構成するピニオン軸が連結されている。従って、操縦者がステアリングホイールを操舵することによって発生した操舵力は、入力軸1、トーションバー3、出力軸2及びラックアンドピニオン式ステアリング装置を介して、図示しない転舵輪に伝達する。

【0016】また、出力軸2の入力軸1側端面には、トーションバー3の挿入部からさらに径方向に延びた溝2aが形成されていて、この溝2aには、入力軸1の出力軸2側端面に形成された凸部1aが挿入されている。ただし、溝2aの幅（周方向寸法）は、凸部1aの幅よりも若干広くなっている、これにより、入力軸1及び出力軸2間の所定範囲（例えば、±5度程度）以上の相対回転を防止している。

【0017】なお、出力軸2には、図示しない電動モータの回転力が例えばウォームギア等を介して伝達されるようになっている。つまり、電動モータへの駆動電流の方向及び大きさを適宜制御することにより、出力軸2に任意の方向及び大きさの操舵補助トルクが付与されるようになっている。

【0018】一方、入力軸1の出力軸2に近接した部分の外周面には、入力軸1と同軸の大径部1Aが形成されていて、この大径部1Aの外周面に近接してこれを包囲するように、肉薄の円筒部材4が配設されている。

【0019】即ち、円筒部材4は、導電性で且つ非磁性の材料（例えば、アルミニウム）から形成され、その図1左方側端部内面には小径部4Aが形成されていて、その小径部4Aが出力軸2に同軸に外嵌している。これにより、円筒部材4は出力軸2と回転方向に一体となっている。

【0020】さらに、円筒部材4の大径部1Aを包囲する肉薄の部分のうち、小径部4Aから遠い側には、周方向に等間隔離隔した長方形の複数（この実施の形態では、六つ）の窓4a、…、4aが形成され、小径部4Aに近い側には、窓4a、…、4aと位相が180度ずれるように周方向に等間隔離隔した長方形（窓4aと同形

状）の複数（この実施の形態では、六つ）の窓4b、…、4bが形成されている。

【0021】より具体的には、窓4a、…、4aは、円筒部材4の周面を周方向に12等分し、その12等分された領域を一つ置きに長方形に開口することにより形成されており、窓4b、…、4bは、窓4a、…、4a同士の間の開口していない部分に対応する部分を開口することにより形成されている。

【0022】これに対し、入力軸1の円筒部材4で包囲される大径部1Aのうち、窓4a、…、4aが形成された部分の内側には、周方向に等間隔離隔し間口が長方形（窓4aと同形状）の軸方向に沿った複数（この実施の形態では、六つ）の溝5a、…、5aが形成され、窓4b、…、4bが形成された部分の内側には、溝5a、…、5aと同様に周方向に等間隔離隔し間口が長方形（溝5aと同形状）の軸方向に沿った複数（この実施の形態では、六つ）の溝5b、…、5bが形成されている。

【0023】ただし、入力軸1及び出力軸2間に相対回転が生じていないとき（操舵トルクが零のとき）に、図1のA-A線における入力軸1及び円筒部材4の断面図である図2に示すように窓4a及び溝5aの位相が90°ずれるように、円筒部材4及び溝5aは位置合わせをされている。従って、図1のB-B線における入力軸1及び円筒部材4の断面図である図3に示すように、操舵トルクが零のときには、窓4b及び溝5bも位相が90°ずれるようになるが、窓4aと4bとの間の位相が180度ずれているため、窓4a及び溝5aの重なり状態と、窓4b及び溝5bの重なり状態とは、図2、図3及び円筒部材4を固定した状態の入力軸1、出力軸2の正面図である図4からも明らかのように、周方向で逆になっている。

【0024】そして、円筒部材4は、同一規格のコイル10及び11が巻き付けられたボビン12を内周側に支持する磁性材料からなるヨーク9で包囲されている。即ち、コイル10及び11は、円筒部材4と同軸に配置されていて、コイル10は窓4a、…、4aが形成された部分を包囲するようにボビン12に巻き付けられ、コイル11は窓4b、…、4bが形成された部分を包囲するようにボビン12に巻き付けられている。

【0025】コイル10及び11は、図示しないセンサケースに収容されたモータ制御回路に接続されている。モータ制御回路は、例えば図5に示すように、所定周波数の交流電流をコイル10、11に供給する発振部21と、コイル10の自己誘導起電力を整流及び平滑して出力する整流・平滑回路22と、コイル11の自己誘導起電力を整流及び平滑して出力する整流・平滑回路23と、整流・平滑回路22の出力及び整流平滑回路23の出力の差を増幅して出力する差動アンプ24A、24Bと、差動アンプ24Aの出力から高周波ノイズ成分を除

去するノイズ除去フィルタ 2 5 A と、差動アンプ 2 4 B の出力から高周波ノイズ成分を除去するノイズ除去フィルタ 2 5 B と、それらノイズ除去フィルタ 2 5 A、2 5 B の出力の例えば平均値に基づいて入力軸 1 及び円筒部材 4 の相対回転変位の方角及び大きさを演算しその結果に例えば所定の比例定数を乗じて操舵系に発生している操舵トルクを求めるトルク演算部 2 6 と、トルク演算部 2 6 の演算結果に基づいて操舵トルクを軽減する操舵補助トルクが発生するような駆動電流 I を電動モータに供給するモータ駆動部 2 7 と、から構成されている。

【0026】次に、本実施の形態の動作を説明する。今、操舵系が直進状態にあり、操舵トルクが零であるものとすると、入力軸 1 及び出力軸 2 間には相対回転は生じない。従って、入力軸 1 と円筒部材 4 との間にも、相対回転は生じない。

【0027】一方、ステアリングホイールを操舵して入力軸 1 に回転力が生じると、その回転力は、トーションバー 3 を介して出力軸 2 に伝達される。このとき、出力軸 2 には、転舵輪及び路面間の摩擦力や出力軸 2 のステアリング装置のギアの噛み合い等の摩擦力に応じた抵抗力が生じるため、入力軸 1 及び出力軸 2 間には、トーションバー 3 が捩じれることによって出力軸 2 が遅れる相対回転が発生し、入力軸 1 及び円筒部材 4 間にも相対回転が生じる。

【0028】円筒部材 4 に窓がない状態では、円筒部材 4 は導電性で且つ非磁性材料でなっているため、コイルに交流電流を流してコイル内部に交番磁界を生じさせると、円筒部材 4 の外周面にコイル電流と反対方向の渦電流が発生する。この渦電流による磁界とコイルによる磁界とを重ね合わせると、円筒部材 4 の内側の磁界は相殺される。

【0029】円筒部材 4 に窓 4 a、4 b を設けた場合、円筒部材 4 の外周面に生じた渦電流は窓 4 a、4 b によって外周面を周回できないため、窓 4 a、4 b の端面に沿って円筒部材 4 の内周面側に回り込み、内周面をコイル電流と同方向に流れ、また隣の窓 4 a、4 b の端面に沿って外周面側に戻るループを形成する。つまり、コイルの内側に、渦電流のループを周方向に周期的（本実施の形態では 6 等配）に配置した状態となる。コイル電流と渦電流の作る磁界は重ね合わされ、円筒部材 4 の内外に、周方向に周期的な強弱を有し、中心に向かうほど小さくなる勾配を持った磁界が形成される。

【0030】周方向の磁界の強弱は、隣り合う渦電流の影響を強く受ける窓 4 a、4 b の中心部分で強く、そこから半周期（本実施の形態では 30 deg）ずれたところで弱い。円筒部材 4 の内側には磁性材料からなる入力軸 1 が同軸に配設され、その入力軸 1 には溝 5 a、5 b が窓 4 a、4 b と同じ周期をもって形成されている。磁界中に置かれた磁性体は磁化して自発磁化（磁束）を発するが、その量は飽和に至るまでは磁界の強さに応じて大

きくなる。

【0031】このため、円筒部材 4 によって作られる周方向に周期的な強弱と半径方向に勾配を持つ磁界によって、入力軸 1 の自発磁化は、円筒部材 4 との相対的な位相によって増減する。

【0032】自発磁化が最小となる位相は、窓 4 a、4 b の中心と溝 5 a、5 b の中心とが一致した状態であり、自発磁化が最大となる位相は、そこから半周期ずれた位相となる。

10 【0033】自発磁化の増減に応じてコイルのインダクタンスも増減する。その変化はほぼ正弦波となる。操舵系にトルクが作用しない状態においては、自発磁化（インダクタンス）が最大となる位相に対して 1/4 周期ずれた状態となっており、窓 4 a と窓 4 b との位相は 1/2 周期の位相差がある。

【0034】このため、操舵系のトルクにより円筒部材 4 と入力軸 1 に位相差が生じると、二つのコイル 1 0、1 1 のインダクタンスは一方は増加し、他方は同じ割合で減少する。

20 【0035】従って、コイル 1 0 及び 1 1 の自己誘導起電力の差を求める差動アンプ 2 4 A 及び 2 4 B の出力は、図 6 に示すように、操舵トルクの方角及び大きさに従ってリニアに変化するようになる。また、差動アンプ 2 4 A 及び 2 4 B において整流・平滑回路 2 2、2 3 の差を求めているため、温度等による自己インダクタンスの変化はキャンセルされる。

【0036】そして、トルク演算部 2 6 は、ノイズ除去フィルタ 2 5 A、2 5 B を介して供給される差動アンプ 2 4 A、2 4 B の出力の平均値を演算し、その値に例えば所定の比例定数を乗じて操舵トルクを求め、その結果をモータ駆動部 2 7 に供給する。モータ駆動部 2 7 は、操舵トルクの方角及び大きさに応じた駆動電流 I を電動モータに供給する。

【0037】すると、電動モータには、操舵系に発生している操舵トルクの方角及び大きさに応じた回転力が発生し、その回転力がウォームギア等を介して出力軸 2 に伝達されるから、出力軸 2 に操舵補助トルクが付与されたことになり、操舵トルクが減少し、操縦者の負担が軽減される。

40 【0038】そして、導電性で且つ非磁性の材料からなる円筒部材 4 は、交番磁界と鎖交する場合には、うず電流が発生して磁束を通し難くなるため、空気よりも更に磁束を通し難い性質を有する。これに対し、磁性材料からなる入力軸 1 の大径部 1 A は、磁束を通し易い（空気よりも通し易い）。従って、大径部 1 A 表面の露出割合の変化は、コイル 1 0、1 1 の自己インダクタンスを急峻に変化させることになるから、差動アンプ 2 4 A、2 4 B の出力を急峻にしてセンサ感度を上げることができる。逆に、センサ感度が従来のままでよければ、コイル 1 0、1 1 の巻き数等を少なくしてコイル 1 0、1 1 を

小型化できる。

【0039】また、円筒部材4を通過する磁束は、うず電流による表皮効果によって、コイル10、11に近い表皮部分に集中することになる。ちなみに、コイル10、11に供給する交流電流の周波数を $f$ 、円筒部材4

$$\delta = \{2 / (2\pi f \cdot \sigma \cdot \mu)\}^{1/2}$$

つまり、円筒部材4の厚みは、上記(1)式で求められる厚さ $\delta$ 以上あればよいから、円筒部材4を含んだセンサ部分の外径寸法を小さくできるし、円筒部材4が薄ければ、センサの外形寸法を最小限に抑えることができるばかりか、コイル10、11と大径部1Aとの間の距離を短くできるため、センサ感度をより向上させることができるという利点がある。

【0041】以上から、本実施の形態の構成であれば、トルクセンサが配設される部分を従来に比べて小型化(細く)できるという利点があり、本実施の形態のようにスペース的な余裕が小さい車両に適用される装置にとっては特に有益である。

【0042】さらには、入力軸1及び出力軸2間の相対回転変位を他の部材の直進運動に変換する機構が必要がないから、構造が簡易であるし、変換機構が不要な分、精度が向上するという利点がある。

【0043】そして、本実施の形態では、入力軸1及び出力軸2を、フェライト系若しくはマルテンサイト系ステンレス材に比べて安価で且つ加工性に優れた構造用鋼で形成しているため、トルクセンサの低コスト化にとって有利な構成となっている。また、それら入力軸1及び出力軸2の表面を無電解ニッケルメッキ処理によってNi-P合金で被覆しているため、入力軸1及び出力軸2の腐食は十分に防止できる。

【0044】入力軸1及び出力軸2表面のメッキ皮膜の厚さは、 $10\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$ 程度とすれば良い。これは、無電解ニッケルメッキ処理により形成されるNi-P合金の磁束の浸透深さ $\delta$ は、その電気伝導率 $\sigma = 4.36 \times 10^7 (\text{m})$ 、比透磁率 $\mu_r = 1$ 、コイル10、11の発振周波数を8KHzとすれば、上記(1)式から $\delta = 4.36 (\text{mm})$ となり、メッキ皮膜の厚さはその浸透深さより十分に薄くなって、構造用鋼単体での磁束密度に対するメッキ皮膜を形成した入力軸1及び出力軸2における磁束密度の減少は極めて小さくて済み、センサ感度の低下が実質的に生じないからである。

【0045】また、無電解ニッケルメッキによって形成されるNi-P合金は、リン含有率が8%以上のものは非晶質のため磁性がないが、純粋なニッケルは鉄と同様に強い強磁性体であり、無電解ニッケルメッキも熱処理温度250℃前後から磁性を帯びるようになることから、そのような磁性を帯びるようにメッキ処理を施して皮膜を形成すれば、構造用鋼単体の場合よりもセンサ感度が向上するようになる。つまり、構造用鋼はその機械的強度を上げるために炭素を大量に含んでいるが、炭

素をなす材料の透磁率を $\mu$ 、その電気伝導率を $\sigma$ とすれば、磁束が集中する表皮の厚さ $\delta$ は、下記の(1)式のようにになる。

【0040】

$$\dots\dots (1)$$

素には鉄の磁性を弱める働きがあるので、SUS材に比べて、構造用鋼の比透磁率は小さく、その分センサ感度が低下することになる。しかし、構造用鋼からなる入力軸1及び出力軸2の表面を、上記のように磁性を帯びるニッケル合金で皮膜すれば、その皮膜内のニッケル成分が、炭素による磁性低下分を補うようになるから、構造用鋼単体の場合よりもセンサ感度が向上するのである。

【0046】さらに、ヨーク9等も、入力軸1及び出力軸2と同様に、構造用鋼で形成するとともに、無電解ニッケルメッキ処理によってその表面を皮膜することにより、性能低下を招くことなく、コスト低減に寄与できるようになる。その場合でも、上記のように磁性を帯びるニッケル合金で皮膜すれば、構造用鋼単体の場合よりもセンサ感度が向上するようになる。

【0047】なお、上記実施例では、信頼性を向上させるために、差動アンプ24A、24B及びノイズ除去フィルタ25A、25Bを二系統設けているが、これは必ずしも必要ではなく、個々の回路の信頼性が十分であれば一系統であつてもよいし、逆に三系統以上設けてもよい。

【0048】また、上記実施例では、本発明に係るトルクセンサを、車両用の電動パワーステアリング装置に適用した場合について説明したが、本発明の適用対象はこれに限定されるものではない。

【0049】そして、上記実施例では、コイル10、11の自己誘導起電力を測定する構成としているが、発振コイルを設けることにより相互誘導起電力を測定する構成としてもよい。或いは、差動を採ることなく、一つのコイルの自己誘導起電力、相互誘導起電力に基づいてトルクを求めるようにしてもよい。

【0050】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、磁性体からなる二本の回転軸をトーションバーを介して同軸に連結するとともに、前記回転軸を包囲するようにコイルを配設し、前記回転軸に作用するトルクを、それら回転軸間の相対回転に伴う前記コイルの誘導起電力の変化として検出するようになっているトルクセンサにおいて、前記回転軸をその表面が不動態となるように被覆したため、センサ感度の大幅な低下等の不具合を招くことなく、その製造コストを低減できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の構成を示す正断面図である。

【図 2】図 1 の A - A 線における円筒部材の断面図である。

【図 3】図 1 の B - B 線における円筒部材の断面図である。

【図 4】円筒部材を固定した状態の正面図である。

【図 5】モータの制御回路の一例を示す回路図である。

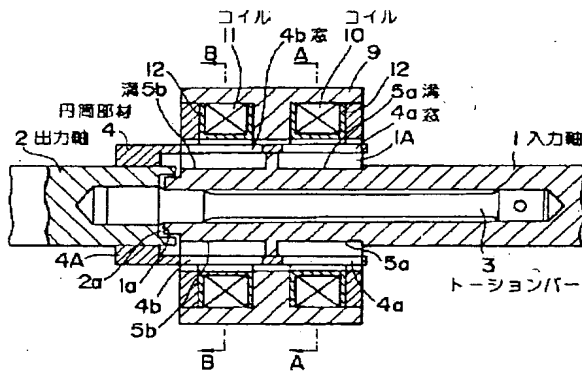
【図 6】操舵トルクと差動アンプの出力との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

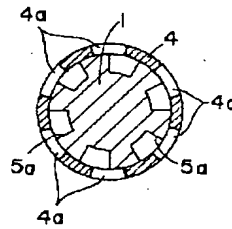
1 入力軸  
1 A 大径部  
2 出力軸

3 トーションバー  
4 円筒部材  
4 a, 4 b 窓  
5 a, 5 b, 5 c 溝  
10, 11 コイル  
21 発振部  
22, 23 整流・平滑回路  
24 A, 24 B 差動アンプ  
25 A, 25 B ノイズ除去フィルタ  
26 トルク演算部  
27 モータ駆動回路

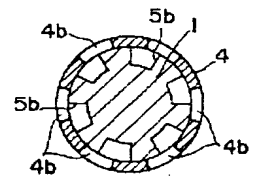
【図 1】



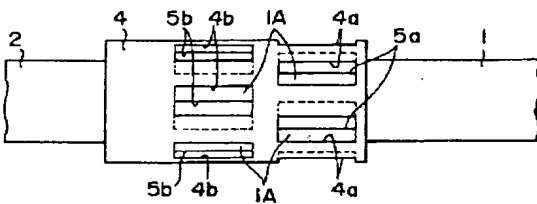
【図 2】



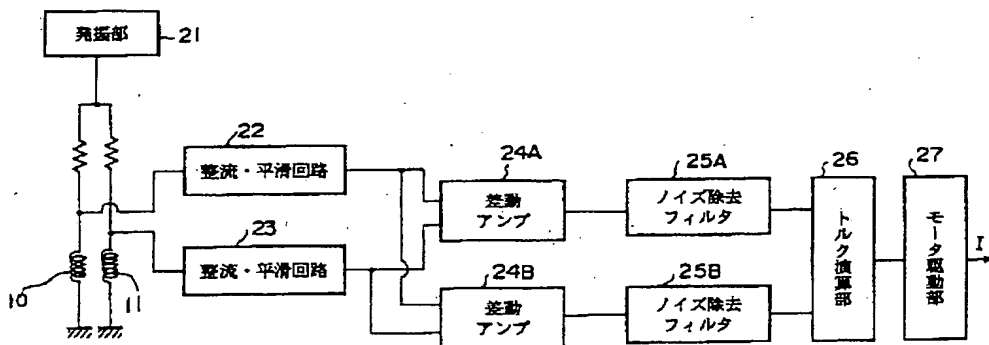
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【図 6】

